La forme de la Terre
La Terre dans l'Univers

1. La forme de la Terre

Les premières idées suffisamment documentées d'une Terre sphérique datent de la Grèce Antique. ***Pythagore*** de Samos (-560 à -480) est le premier auteur auquel on attribue l'idée d'une Terre sphérique.

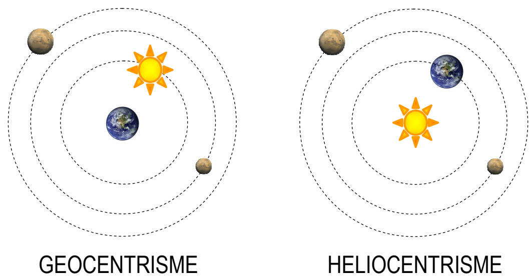
Parménide d'Elée (école pythagoricienne) enseignait vers -470 que le Terre sphérique est isolée dans l'espace où elle se soutient car elle n'a aucune raison de se déplacer d'un côté plutôt que l'autre.
Philolaos de Crotone défendait l'idée que la Terre est une planète dont le cycle jour/nuit s'explique par une rotation sur elle-même.

La sphéricité de la Terre est définitivement admise avec les preuves apportées par ***Aristote*** de Stagire (-384 à -322) :

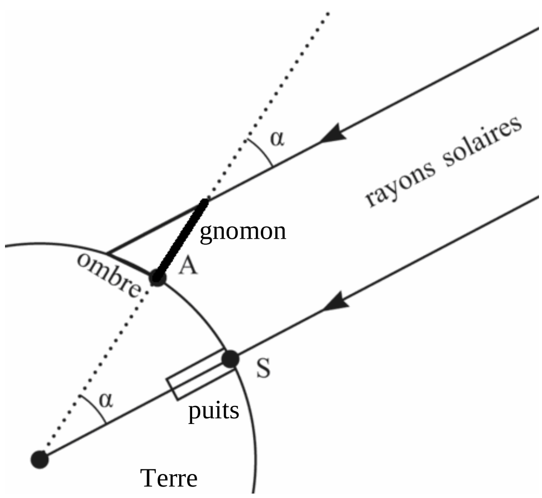
- Observation de la forme circulaire de l'ombre de la Terre sur la Lune lors d'éclipses de Lune.
- Apparition et disparition d'étoiles dans le ciel lorsqu'on se déplace vers le Nord ou vers le Sud.

Mais pour ***Aristote***, la Terre est le seul corps immobile et au centre du monde.
Le premier modèle d'un cosmos héliocentrique est dû à ***Aristarque*** de Samos vers -280. Malheureusement son hypothèse tombe rapidement dans l'oubli car elle contredisait les idées largement admises d'***Aristote***.

Il faut alors attendre la fin du moyen-âge pour voir le retour de l'héliocentrisme en 1543 avec le traité "*De revolutionibus orbium caelestium*" du polonais *Nicolas* ***Copernic*** qui place le Soleil au centre de l'Univers et impose à la Terre le simple statut de planète.



Première mesure précise de la circonférence de la Terre :



Ératosthène de Cyrène (-276 à -194) démontra l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur de la Terre et fixa cette valeur à 23°51' (valeur admise actuelle 23°26'). On lui attribue aussi le terme « géographie ».

Sa méthode pour mesurer la circonférence de la Terre est purement géométrique :

Exercice 1 :

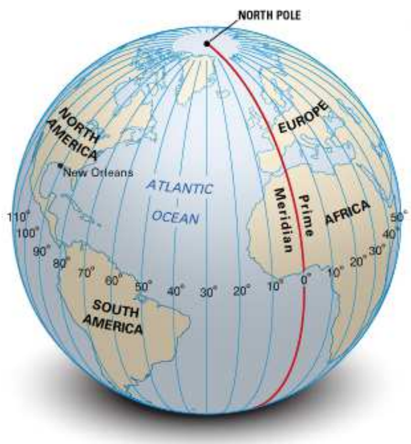
A midi, au solstice d'été, à Syène (S) en Egypte, le Soleil éclaire le fond d'un puits alors qu'à D = 5 000 stades égyptiens plus au Nord, à Alexandrie (A), au même moment, un gnomon de 80,0 cm de haut projette une ombre au sol de 10,1 cm.

a. Déterminer la valeur de l'angle α en °.
b. Sachant que cet angle α correspond à une distance en surface de 5 000 stades, en déduire la circonférence C de la Terre en km.
c. En déduire la valeur R du rayon de la Terre en km.

Donnée : 1 stade égyptien ≈ 157,5 m

2. Première mesure d'un méridien

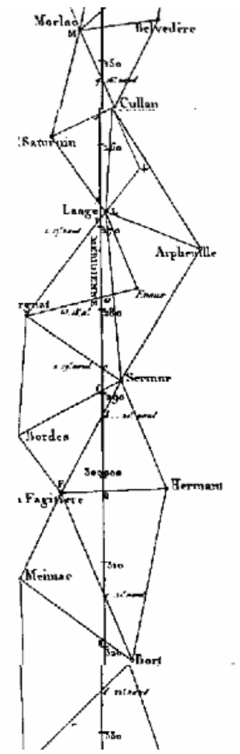
Vers la fin du 18e siècle, il existe en France plus de 250 000 unités différentes pour quantifier masses et distances. Pour remédier à cela, l'Académie des Sciences se charge en 1791 d'instaurer un nouveau système de mesures : le système métrique. La nouvelle unité de longueur doit être immuable dans le temps et l'espace.
On choisit alors le « mètre » qui sera égal à la quarante millionième partie d'un méridien de l'époque faisant le tour de la Terre en passant par les pôles (Aujourd'hui, un méridien est égal à la moitié d'un méridien de l'époque. Il va d'un pôle à l'autre et il en existe donc 360).



Pour mesurer la longueur d'un méridien de l'époque, on décide d'en mesurer une partie et d'extrapoler le résultat à la sphère de la Terre. Ainsi, en pleine révolution française, *Jean Baptiste Joseph* ***Delambre*** et *Pierre François André* ***Méchain*** sillonnent la France et l'Espagne pendant 7 ans pour mesurer précisément la distance entre Dunkerque et Barcelone, deux villes sur un même méridien.

2.1. Méthode de triangulation :

Morceau de la chaine de triangulation

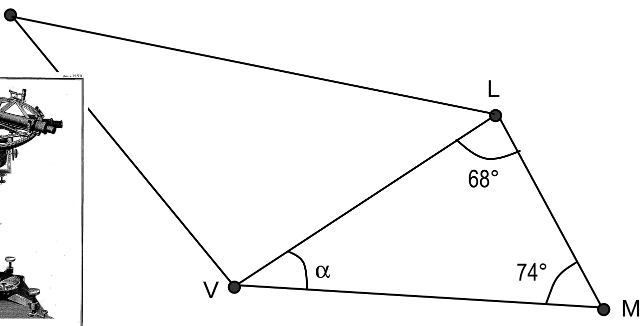


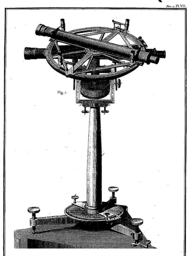
Dans un premier temps, ***Delambre*** et ***Méchain*** mesurèrent à l'aide de règles la distance entre les villes de Melun (M) et Lieusaint (L). Ils trouvèrent ML = 11,8 km.
Puis, depuis Melun, à l'aide d'un instrument appelé cercle répétiteur, ils mesurèrent précisément l'angle VML et depuis Lieusaint, l'angle MLV (avec V la ville de Malvoisine).

A l'aide de la longueur ML et de la mesure de ces deux angles, ils purent, en utilisant la loi des sinus, retrouver les deux autres longueurs du triangle formé par ces trois villes.

Ils répétèrent (***Delambre*** en France et ***Méchain*** en Espagne) ce type de mesures pour arriver au final à une distance totale de 1111,11 km entre Dunkerque et Barcelone

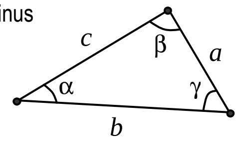
Monthléry





Cercle répétiteur

Loi des sinus



$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$$

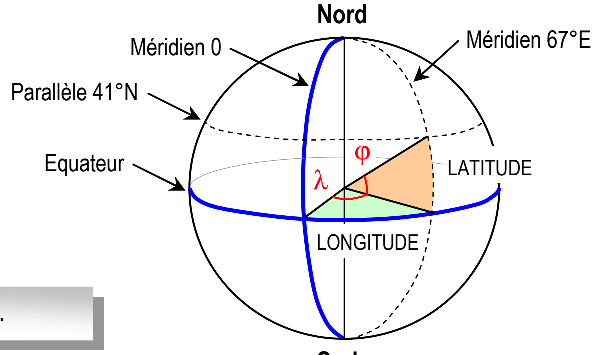
Exercice 2 :

a. A l'aide des angles VML et MLV de la figure, retrouver la valeur de l'angle LVM = α.
b. En utilisant la loi des sinus, déterminer les distances VL et VM.
c. Décrire alors comment procéder pour mesurer la distance de Lieusaint à Monthléry.
d. Sachant que la latitude de Barcelone est de 41,38° et que celle de Dunkerque est de 51,04°, déterminer la longueur d'un méridien de l'époque.

2.2. Coordonnées géographiques

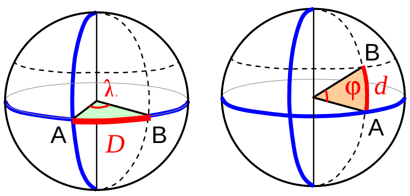
Quand on donne la position d'un point sur le globe terrestre, on précise le parallèle et le méridien qui se coupent en ce point.
Le méridien de longitude nulle (λ = 0°) est celui passant par Greenwich.
Le parallèle de latitude nulle (φ = 0°) est l'équateur.

A l'aide de ces deux références, on peut donner la position de n'importe quel point sur le globe. Par exemple, le lac Aydar se trouve à l'intersection du parallèle φ = 41°N et du méridien λ = 67°E.
Les coordonnées de ce lac sont donc : 41°Nord et 67° Est.



Question : Donner les coordonnées du pôle Nord et celles du pôle Sud.

2.3. Longueur d'un arc



La plus petite distance à parcourir sur un cercle pour aller d'un point A à un point B est l'arc de cercle $\overset{\frown}{AB}$.

- Pour deux points sur un même méridien, la longueur d de l'arc vaut : $d = R \times \varphi$
- Pour deux points sur un même parallèle la longueur D de l'arc vaut : $D = R \times \lambda$
  avec R le rayon de la sphère et φ et λ deux angles exprimés en radians.

Exercice 3 :

Les coordonnées de Dunkerque sont : 51,04°N 2,37°E. Celles de Barcelone sont : 41,38°N 2,17°E.
a. Quelle approximation peut-on faire ? Justifier cette approximation.
b. Déterminer la distance séparant ces deux villes à vol d'oiseau (rayon de la Terre : 6 380 km).

Les coordonnées de Tadoussac au Québec sont : 48,13°N 69,72°O. Celles de Paris sont : 48,85°N 2,33°E.
c. Déterminer la distance séparant ces deux villes.

A noter :

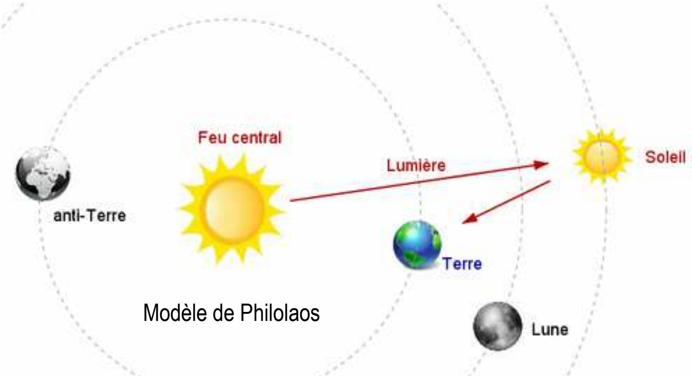
Les coordonnées sont généralement données en degrés, minutes et secondes d'arc. Lors des conversions, il faut tenir compte du fait que :
- 60 secondes d'arc valent une minute d'arc : 60'' = 1'
- 60 minutes d'arc valent un degré : 60' = 1°

Ainsi, par exemple 36°30' = 36,50°

Question : Convertir 27,75° en degrés, minutes puis convertir 11°15' en degrés.

3. Le mouvement de la Terre

3.1. Du géocentrisme à l’héliocentrisme

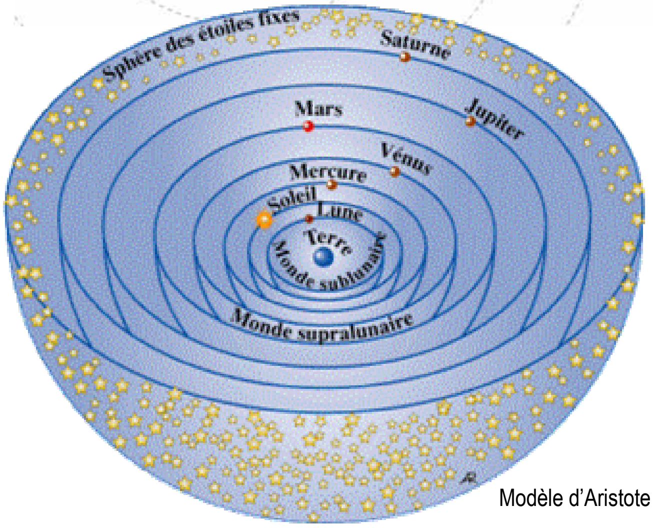


Modèle de Philolaos

Dans la Grèce Antique, tous les penseurs et philosophes considèrent la Terre comme immobile et au centre du cosmos à deux exceptions près :

• *Aristarque* de Samos qui place pour la première fois le Soleil au centre du cosmos et attribue à la Terre un mouvement de rotation autour du Soleil et sur elle-même. Il ira même jusqu'à soupçonner l'immensité démesurée de l'Univers.
Accusé de vouloir s'en prendre directement aux dieux, Aristarque et ses idées furent rapidement oubliés.

• *Philolaos* de Crotone qui affirme que la Terre tourne, ainsi que le Soleil, la Lune, l’Anti-Terre et les 5 autres planètes visibles, autour d'un « Feu central », demeure de Zeus, qu'il nomma «Hestia». Ce Feux central et l’Anti-Terre seraient invisibles car toujours placés aux antipodes du côté habité de la Terre.
Hestia et l'Anti-Terre n'avaient en fait pour seule raison d'être que de porter le nombre d'astres à dix, nombre important pour les Pythagoriciens.



Modèle d’Aristote

Aristote, disciple de *Platon*, reprend les idées de ce dernier et impose dans les esprits de l'école d'Athènes son modèle géocentrique vers -350 :

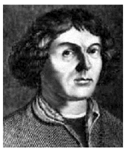
- La Terre est immobile au centre de l’Univers.
- On distingue deux grandes régions dans le cosmos :
  • le monde sublunaire, (le nôtre) lieu du changement et de la corruption.
  • le monde supra-lunaire, celui du ciel et des astres, où tout est éternel, immuable et parfait.
- Chaque planète (y compris le Soleil et la Lune) est fixée sur l’équateur d’une sphère translucide centrée sur la Terre.
- L’Univers est fini et limité par la sphère des étoiles fixes.

Mais rapidement on observe des irrégularités par rapport à ce modèle dans le mouvement de certains astres. Ainsi la sphère translucide de la planète Mars semble faire soudainement marche arrière (rétrogradation de Mars), celle de Saturne semble avoir une vitesse qui varie, l’éclat des planètes changent, etc.

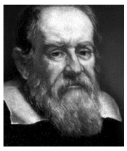
Exercice 4 :

a. *Philolaos* était-il en faveur de l’héliocentrisme ? Justifier.
b. En quoi le mouvement erratique des sphères translucides de Mars et Saturne et le changement d’éclat des planètes viennent-ils contredire les postulats d’Aristote ?

Des améliorations sont donc apportées au modèle d’Aristote, notamment par *Ptolémée* au IIe siècle av. JC. (épicycles). Mais le modèle géocentrique restera la référence jusqu’à la fin du moyen-âge.



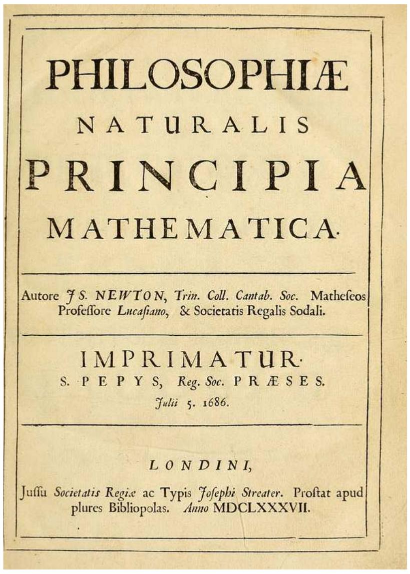
En 1543, *Nicolas* ***Copernic***, astronome polonais, dévoile son œuvre "De revolutionibus orbium caelestium" dans laquelle il montre que le modèle héliocentrique permet de simplifier grandement la trajectoire des astres sans pour autant répondre à tous les problèmes observés.



En 1632 le savant italien *Galileo Galilei* (***Galilée***), dans son ouvrage "Dialogue", tourne sournoisement en dérision les idées d’***Aristote***. Entre autre, il montra en étudiant les 4 plus gros satellites de Jupiter, que la Terre n’est pas le seul centre de rotation dans le cosmos.

De 1609 à 1618, l’astronome allemand *Johannes* ***Kepler*** énonce les 3 lois de son modèle héliocentrique dans lequel les planètes décrivent des ellipses autour du Soleil. Les prédictions de ce modèle sont nettement meilleures que celles du modèle de Ptolémée et améliorent celles de Copernic.

En 1687, le polymathe anglais *Isaac* ***Newton*** publie son œuvre maîtresse "Philosophiae naturalis principia mathematica" dans laquelle il porte le coup de grâce à la vision géocentrique. Les trajectoires des planètes sont enfin mises en équation et sont expliquées par la gravitation.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

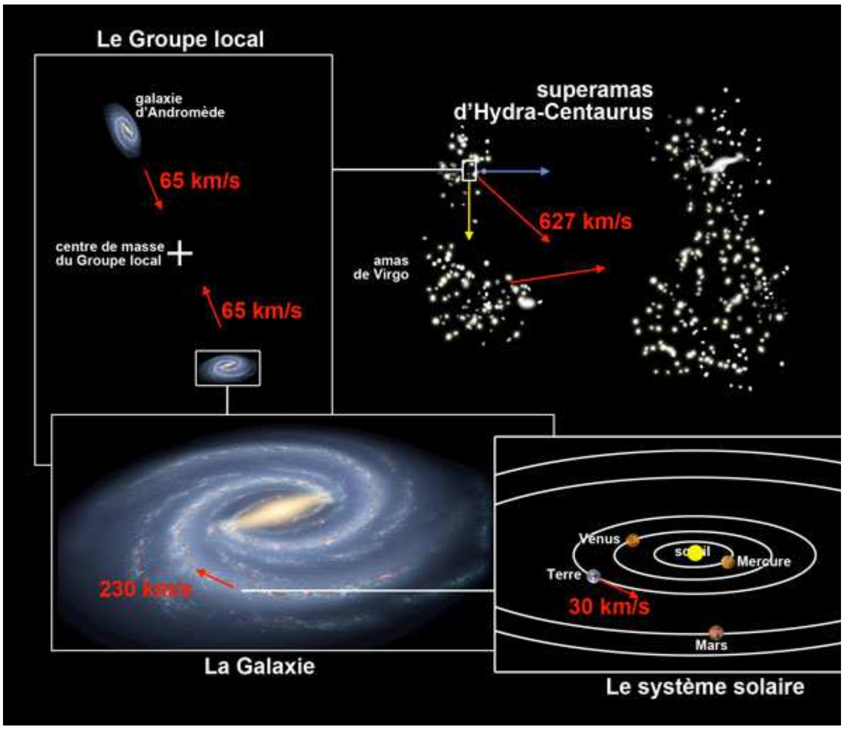
3.2. Le mouvement réel de la Terre

En réalité, la Terre tourne autour du Soleil à 30 km/s sur une orbite quasi-circulaire (légèrement elliptique) dont le rayon varie entre 147 et 152 millions de km.
Le plan contenant l'orbite terrestre est appelé l'écliptique.

Le système solaire, contenant le Soleil et les huit planètes, tourne autour du centre de notre galaxie, la voie lactée, à 230 km/s.

Notre galaxie se déplace dans notre amas galactique (le Groupe Local) à environ 70 km/s en direction du centre de masse du groupe.

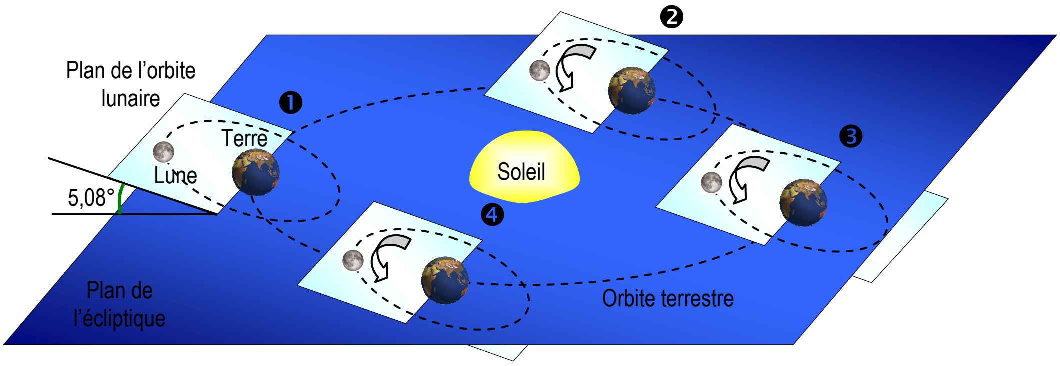
Notre amas galactique se déplace à plus de 600 km/s en direction du Grand Attracteur, une anomalie gravitationnelle d'environ 50 000 fois la masse de notre galaxie et située dans la direction de la constellation du Centaure.



4. Le mouvement de la Lune

La Lune est le seul satellite naturel de la Terre.
Le plan de son orbite est incliné de 5,08° par rapport à l'écliptique. De ce fait, la Lune n'est que rarement alignée avec la Terre et le Soleil. Les éclipses de Lune et de Soleil sont donc rares.

La Lune fait le tour de la Terre en 27,3 j (période de révolution). Elle fait un tour sur elle-même pendant précisément la même durée.
De ce fait, la Lune montre toujours la même face à la Terre.



Exercice 5 :

a. Des positions ❶, ❷, ❸ et ❹, définir celles qui sont propices aux éclipses de Lune ou de Soleil. Justifier.
b. Définir l'ordre d'alignement du Soleil, de la Terre et de la Lune dans le cas d'une éclipse solaire puis dans le cas d'une éclipse lunaire.
c. Depuis la Terre, lors d'une éclipse de Soleil, le disque lunaire a le même diamètre apparent que celui du Soleil. Sachant que le diamètre réel de la Lune est 400 fois plus petit que celui du Soleil, quel renseignement peut-on en tirer ?

Les phases de la Lune :

La période synodique est le temps qui s'écoule entre deux nouvelles Lunes. Elle vaut 29,3 j.

Aspects de la Lune dans le référentiel géocentrique